

Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

Задание экспериментального тура заключительного этапа 2024-2025 учебный год 11 класс

Одним из проектов по импортозамещению, реализуемых Башкирской содовой компанией, стал пуск производства синтетических моющих средств на дочернем предприятии «Эколь». «Эколь» – предприятие с передовыми технологиями производства бытовой химии и современными методами организации и управления, его проектная мощность – 60 тысяч тонн моющих средств в год.



В 2023 году в линейке детского гипоаллергенного стирального порошка Tobbi Kids появились новые продукты – отбеливающее средство и пятновыводитель. Они усиливают действие стирального порошка и эффективно очищают все виды тканей, удаляют трудновыводимые загрязнения без кипячения. В составе – отбеливающее вещество на основе кислорода, кристаллосольват **X**, которое получают действием пергидроля (концентрированного раствора пероксида водорода) на кальцинированную соду.

- 1. Установите состав вещества X, если известно, что оно содержит 61,1 % кислорода по массе и при нагревании 1,000 г может выделить до 107,0 мл кислорода (н.у.).**

Поскольку **X** — это продукт взаимодействия Na_2CO_3 и H_2O_2 , разумно предположить, что это аддукт вида $Na_2CO_3 \cdot xH_2O_2$. Молярная масса $Na_2CO_3 \cdot xH_2O_2$ $M = 106 + x \cdot 34$ г/моль, массовая доля кислорода:

$$\omega(O) = \frac{3 \cdot 16 + x \cdot 2 \cdot 16}{106 + x \cdot 34} = 0,611, \quad \text{откуда } x \approx 1,5, \quad \text{что отвечает формуле } Na_2CO_3 \cdot 1,5H_2O_2.$$

При разложении:

$$n(O_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{0,1070 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 0,00477 \text{ моль}$$

Уравнение реакции: $Na_2CO_3 \cdot 1,5H_2O_2 \rightarrow Na_2CO_3 + 1,5H_2O + 0,75O_2$

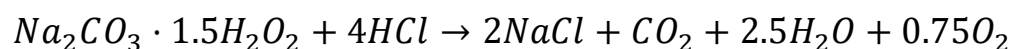
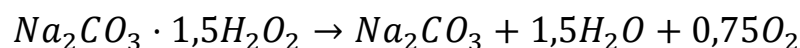
$$n_{Na_2CO_3 \cdot 1,5H_2O_2} = \frac{m}{M} = \frac{1,000}{106+1,5 \cdot 34} \approx 0,00637 \text{ моль}$$

Выделяется $0,75 \cdot 0,00637 \approx 0,00478$ моль O_2 , что соответствует условию

2 балла

Формула X: $Na_2CO_3 \cdot 1,5H_2O_2$ или $2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$.

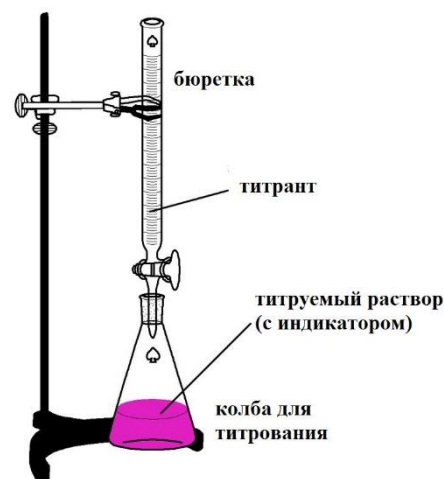
2. X неустойчиво, разлагается при нагревании и при взаимодействии с кислотами, например, с соляной кислотой. Приведите уравнения указанных реакций.



2 уравнения реакции по 1 баллу, всего за пункт 2 балла

Сегодня вам предстоит выступить в роли сотрудника аналитической лаборатории и провести химический анализ в рамках контроля качества отбеливателя методом окислительно-восстановительного титрования. Титрование – это метод количественного анализа, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для полного протекания реакции с определяемым веществом неизвестной концентрации.

Для анализа в колбу для титрования отбирают аликвоту (пробу) анализируемого раствора, при необходимости добавляют индикатор. Бюретку заполняют раствором титранта (вещества с точно известной концентрацией), устанавливают нулевое деление. Титрование проводят, медленно приливая титрант из бюретки при постоянном перемешивании. При полном прохождении реакции изменяется окраска раствора, что свидетельствует о достижении конечной точки титрования. После этого фиксируют объем затраченного титранта, и рассчитывают концентрацию определяемого вещества, используя уравнение реакции.



3. Рассчитайте молярную концентрацию раствора гидроксида натрия, моль/л, если известно, что на титрование его аликвоты объемом 10,00 мл затрачено 14,7 мл соляной кислоты с концентрацией 0,1000 моль/л.

Уравнение реакции: $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

$$n_{\text{NaOH}} = n_{\text{HCl}},$$

$$n_{\text{HCl}} = C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} = 0,1000 \text{ моль/л} \times 0,0147 \text{ л} = 0,00147 \text{ моль} = n_{\text{NaOH}},$$

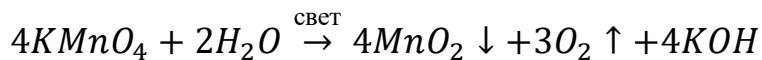
$$C_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{NaOH}}} = \frac{0,00147 \text{ моль}}{0,010 \text{ л}} = 0,147 \text{ моль/л}$$

4 балла (если допущена ошибка в единицах измерения величин, но логика верная, **2 балла**)

Концентрация раствора: 0,147 моль/л

В методе перманганатометрии в качестве стандартного раствора с точно известной концентрации используют раствор перманганата калия, выступающего в роли окислителя. Фиксирование конечной точки титрования проводят без индикатора, поскольку титрант имеет малиновую окраску. В ходе титрования из-за протекающей реакции он обесцвечивается. Появление бледно-розовой окраски при добавлении избыточной капли раствора перманганата свидетельствует об окончании титрования.

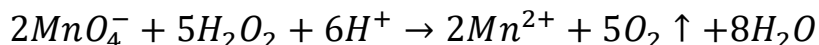
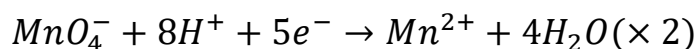
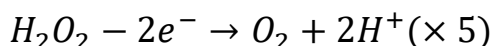
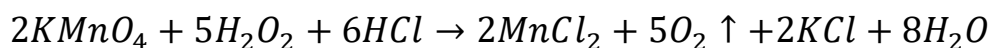
4. Долгосрочное хранение растворов титранта – перманганата калия – организуют в темном месте или в бутылках из темного стекла. Почему? Подтвердите уравнением реакции.



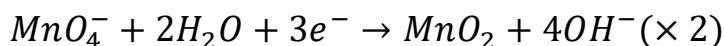
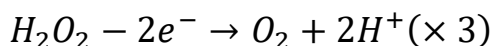
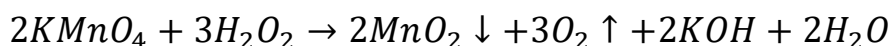
2 балла (если неверные коэффициенты, **1 балл**)

5. Образующийся в ходе кислотного разложения пероксид водорода может реагировать с раствором перманганата калия, что используется в количественном анализе. Приведите уравнения реакций пероксида водорода с перманганатом калия в различных средах – кислой, нейтральной и щелочной (3 уравнения). Расставьте коэффициенты методом электронного или электронно-ионного баланса.

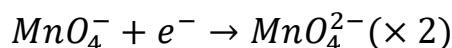
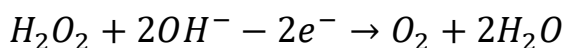
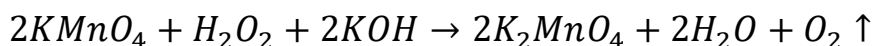
1. Кислая среда (HCl)



2. Нейтральная или слабокислая среда



3. Щелочная среда (KOH)

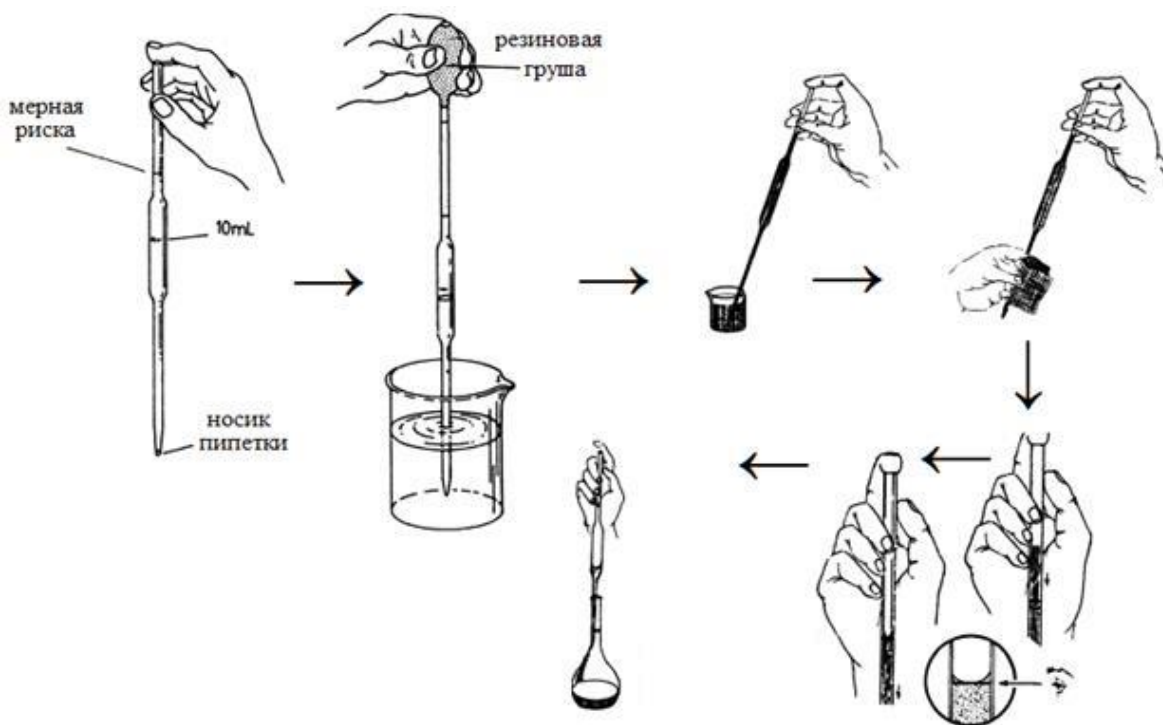
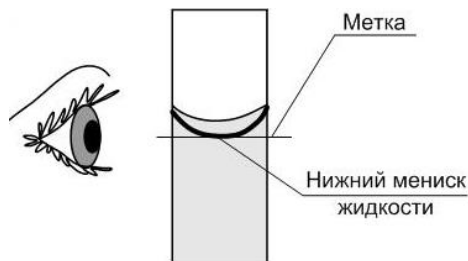


3 уравнения реакции по 2 балла (с неверными коэффициентами – 1 балл), всего за пункт 6 баллов

Методика проведения работы:

Используя предоставленные реактивы и оборудование, вам необходимо отобрать пробу, провести титрование и определить массовую долю активного кислорода в отбеливателе.

1. В химический стакан взвесьте навеску исследуемого отбеливателя массой $\sim 1,00$ г. Точную массу запишите: $m_{\text{пробы}} =$ _____
2. Поскольку средство образует пену, его не следует растворять в мерной колбе. Вместо этого отмерьте мерной колбой 100,0 мл дистиллированной воды, заполнив её водой строго до метки. Границу раствора по метке определяйте по нижнему мениску.
3. Количественно прилейте воду к пробе. Перемешивая смесь стеклянной палочкой, добейтесь полного растворения порошка.
4. Ополосните пипетку Мора сначала водой, а затем исследуемым раствором. Для этого с помощью груши всосите в неё небольшое количество раствора. Не допуская слива в стакан с образцом, зажмите конец пипетки и ополосните её стенки раствором, слейте раствор в слив.
5. Используя пипетку Мора и грушу, отберите из стакана аликвоту 10 мл и перенесите в коническую колбу. Мерным цилиндром на столе общего пользования отмерьте 5 мл раствора соляной кислоты с концентрацией 1 моль/л (1 М) и внесите в коническую колбу. Ваш исследуемый раствор готов.



6. Вам необходимо подготовить бюретку. Для этого слейте дистиллированную воду с помощью шарика и один раз ополосните ее изнутри раствором перманганата калия. Для этого используйте соответствующую малую воронку, не вынимая бюретку из зажима.

7. После этого заполните бюретку раствором титранта (перманганата калия) до нулевой отметки. Проверьте, чтобы в резиновой части бюретки не было пузырей. Если они есть, их необходимо удалить. Если у вас возникнут с этим трудности, обратитесь за помощью к членам жюри.
8. Начните титровать ранее приготовленный в конической колбе раствор. Титруйте по каплям, чтобы точно зафиксировать конечную точку титрования (момент перехода окраски). Титрование необходимо вести до появления устойчивой бледно-розовой окраски. Как только вы заметите переход окраски раствора, прекращайте титрование и запишите затраченный объем раствора титранта в таблицу ниже.
9. Для достоверности результатов проведите титрование еще раз (повтор шагов 5, 7-8). Не забывайте доливать титрант в бюретку до нулевой отметки перед каждым новым титрованием. Результат считается приемлемым, если различие между объемами титранта в каждом титровании не превышает 0,1 мл. При необходимости повторите анализ и отбросьте выпадающие значения.
10. Найдите среднее значение объема титранта и приступите к обработке результатов.

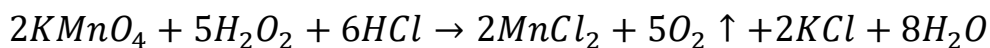
Титрование	V ₁	V ₂	V ₃		
Объём, мл					

Среднее значение V_{ср}=_____

Точность титрования оценивается, исходя из разницы (ΔV , мл) между величиной среднего объема титранта, который участник затратил на титрование, и ожидаемым значением, рассчитанным исходя из массы навески участника, в соответствии с таблицей:

ΔV , мл	Баллы
$\leq 0,30$	20
0,30 – 0,60	17
0,60 – 1,20	14
1,20 – 1,80	12
$\geq 1,80$	10

6. По результатам титрования рассчитайте массовую долю активного кислорода в анализируемой пробе (для целей расчета допускается принять массу активного кислорода равной половине массы кислорода, выделяющегося в ходе реакции определения). Приведите подробный расчет и расчет в общем виде.



$n_{KMnO_4} = C_{KMnO_4} \cdot V_{ср}$, $n_{O_2} = n_{H_2O_2} = \frac{5}{2} \cdot n_{KMnO_4}$, с учетом разбавления,
 $n_{O_2 \text{ общ, моль}} = \frac{5}{2} \cdot C_{KMnO_4, \frac{\text{моль}}{\text{л}}} \cdot V_{ср, \text{ мл}} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{V_{\text{м.к., мл}}}{V_{\text{ал, мл}}}$, тогда массовая
 доля активного кислорода

$$w_O = \frac{m_O}{m_{\text{навески}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{5}{2} \cdot C_{KMnO_4, \frac{\text{моль}}{\text{л}}} \cdot V_{ср, \text{ мл}} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{V_{\text{м.к., мл}}}{V_{\text{ал, мл}}} \cdot A_r(O_2), \text{ г/моль}}{m_{\text{навески}}, \text{ г}}$$

$$= \frac{0,008 \cdot V_{ср, \text{ мл}}}{m_{\text{навески}}, \text{ г}}$$

4 балла (оценивается вывод формулы или логика расчета безотносительно точности титрования. При частично верном решении: **1 балл** за расчет количества вещества перманганата калия в аликвоте, **1 балл** за учет разбавления, **1 балл** за формулу массовой доли и пересчет на активный кислород)

Массовая доля активного кислорода: _____

Система оценивания:

Теоретическая часть

1. Установление состава вещества X *по 2 балла* **2 балла**
2. Уравнения реакции разложения вещества X и реакции вещества X с соляной кислотой *по 1 баллу* **2 балла**
3. Расчет молярной концентрации гидроксида натрия *по 4 балла* **4 балла**
4. Уравнение реакции разложения перманганата калия в нейтральной среды на свету *по 2 балла* **2 балла**
5. Уравнения реакций пероксида водорода с перманганатом калия в различных средах *по 2 балла* **6 балла**

Экспериментальная часть

6. Определение среднего значения объема титранта *по 20 баллов* **20 баллов**
7. Расчет массовой доли активного кислорода в анализируемой пробе *по 4 балла* **4 балла**

ИТОГО 40 баллов